4A

УДК 681.518.9; 621.384.3

С.С. Анцыферов, К.Е. Русанов
Московский государственный технический университет МИРЭА, Россия
Россия, 119454, г. Москва, пр. Вернадского, 78

Быстродействие интеллектуальных систем

S.S. Antsyferov, K.E. Rusanov
Moscow state technical university MIREA, Russia
Russia, 119454, c. Moscow, Vernadsky ave., 78

Processing Speed of Intellectual Systems

С.С. Анциферов, К.Є. Русанов
Московський державний технічний університет МІРЕА, Росія
Росія, 119454, м. Москва, пр. Вернадського, 78

Швидкодія інтелектуальних систем

В статье отмечается, что принятие решения о состоянии исследуемого объекта возможно только при достижении мерой информативности существенных признаков поля некоторого установленного порога. Установлены аналитические соотношения, позволяющие оценивать среднее время до достижения установленного порога, до принятия того или иного решения, а фактически быстродействие систем структурно-стохастической обработки информации в режиме последовательных малоинформативных наблюдений.
Ключевые слова: структурированное поле, уровень достоверности, последовательная обработка, информативность, существенный признак, порог, быстродействие, среднее время, апостериорная – априорная вероятность, правдоподобие.

In article it is noted that making decision on a condition of studied object possibly only at achievement by a measure of informational content of essential signs of a field of some established threshold. The analytical ratios, allowing to estimate average time before achievement of the established threshold, before adoption of this or that decision, and actually speed of systems of structural-stochastic information processing in a mode of consecutive low-informative supervision are established.
Key words: structured field, reliability level, serial processing, the informational content, essential sign, threshold, processing speed, average time, aposterior – aprior probability, credibility.

У статті зазначається, що прийняття рішення про стан досліджуваного об’єкта можливе лише за умов досягнення мірою інформативності істотних ознак поля деякого встановленого порогу. Встановлені аналітичні співвідношення, які дозволяють оцінювати середній час до досягнення встановленого порогу, до прийняття того чи іншого рішення, а фактично – швидкодію систем структурно-стохастичної обробки інформації в режимі послідовних малоінформативних спостережень.
Ключові слова: структуроване поле, рівень достовірності, послідовна обробка, інформативність, істотна ознака, поріг, швидкодія, середній час, апостеріорна – апріорна вірогідність, правдоподібність.

При анализе слабо структурированных полей, что чаще всего имеет место на практике, для обеспечения требуемого уровня достоверности приходится осуществлять последовательную обработку целого ряда реализаций, полученных в режиме динамических наблюдений. Характерной особенностью слабо структурированных полей является, как правило, малая информативность каждой отдельной реализации из-за нечеткой выраженности существенных признаков, «размытости» элементарных компонентов. В этих случаях принятие решения о состоянии объекта возможно только

при достижении мерой информативности существенных признаков поля некоторого установленного порога. Так, согласно методу структурно-стохастической аппроксимации изотропных полей [1-7], для повышения достоверности распознавания пограничных состояний исследуемых объектов на них оказывается определенное тестовое воздействие, приводящее к вариативности структуры реализаций поля во времени. В процессе обработки реализаций происходит постепенное накопление информации и соответствующее повышение информативности признаков до уровня достаточного для принятия решения. В работе [8] с помощью сформированной шкалы информационной сложности установлено пороговое значение меры информативности признаков, обеспечивающее высокий уровень достоверности формирования опорных и распознавания текущих образов поля. Для оптимизации параметров модели и для оценки быстродействия системы обработки в режиме динамических наблюдений важно установление среднего числа тактов или среднего времени до достижения установленного порога, а фактически до принятия того или иного решения (время задержки принятия решения).

Цель данной работы – установление аналитических соотношений, позволяющих оценивать быстродействие систем структурно-стохастической обработки информации в режиме последовательных малоинформативных наблюдений.

Определение среднего времени до принятия решения

В процессе обработки реализаций полей на каждом такте возможны следующие ситуации, характеризующиеся соответствующими вероятностями:

– признак присутствует в реализации и выявлен в процессе обработки – $P_1(1)$;

– признак присутствует в реализации, но в процессе обработки не выявлен – $P_1(0) = 1 - P_1(1)$;

– признак отсутствует в реализации, но в процессе обработки он выявлен – $P_0(1)$;

– признак отсутствует и в процессе обработки не выявлен – $P_0(0) = 1 - P_0(1)$.

Апостериорная вероятность наличия того или иного признака на каждом k-м такте обработки может быть найдена с помощью рекуррентного алгоритма, аналогичного введенному в работе [4]:

$$\hat{P}_k(1) = \frac{P_k(1)p_1[\beta(x,y)]}{P_k(1)p_1[\beta(x,y)] + [1 - P_k(1)]p_0[\beta(x,y)]}, \qquad (1)$$

где

$$P_k(1) = \hat{P}_{k-1}(1)P_\tau(1|1) + [1 - \hat{P}_{k-1}(1)]P_\tau(1|0), \qquad (2)$$

– априорная вероятность наличия признака;

$p_1[\beta(x,y)]$ – двумерная плотность распределения значений интенсивности реализации при наличии β-го признака;

$p_0[\beta(x,y)]$ – двумерная плотность распределения при отсутствии β-го признака;

τ – межтактовый интервал;

$P_\tau(1|1)$ – вероятность того, что признак, выявленный на $k-1$-м такте, будет выявлен на k-м;

$P_\tau(1|0)$ – вероятность выявления признака на k-м интервале, если на $k-1$-м он не выявлен.

Переходя к указанным выше возможным ситуациям и вводя в рассмотрение отношение правдоподобия $l = P_1(1)/P_0(1)$, преобразуем соотношение (1) к следующему, более простому, виду:

$$\hat{P}_k(1) = \begin{cases} \dfrac{P_k(1)}{1+P_k(1)(l-1)}, & \text{если признак присутствует,} \\ \dfrac{P_k(1)[1-P_1(1)]/[1-P_0(1)]}{1+P_k(1)\{[1-P_1(1)]/[1-P_0(1)]-1\}}, & \text{если признак отсутствует.} \end{cases} \quad (3)$$

Используя обозначение (2) для вероятности наличия признака, экстраполированной на время τ вперед, получим уравнение для среднего числа тактов до достижения порога $P_{пор}$ при наличии признака:

$$N_1(\hat{P}) = 1 + P_1(1)N_1\left[\frac{P_k(1)l}{1+P_k(1)(l-1)}\right] +$$
$$+[1-P_1(1)]N_1\left[\frac{P_k(1)[1-P_1(1)]/[1-P_0(1)]}{1+P_k(1)\{[1-P_1(1)]/[1-P_0(1)]-1\}}\right], \hat{P} < P_{пор}; \quad (4)$$
$$N_1(\hat{P}) = 0, \quad \hat{P} \geq P_{пор}.$$

Аналогично можно определить среднее число тактов до достижения порога при отсутствии признака

$$N_0(\hat{P}) = 1 + P_0(1)N_0\left[\frac{P_k(1)l}{1+P_k(1)(l-1)}\right] +$$
$$+[1-P_0(1)]N_0\left[\frac{P_k(1)[1-P_1(1)]/[1-P_0(1)]}{1+P_k(1)\{[1-P_1(1)]/[1-P_0(1)-1]\}}\right], \hat{P} < P_{пор}. \quad (5)$$

В общем случае, при произвольных значениях параметров, функциональные уравнения (4) и (5) аналитически не разрешимы. Поэтому для представляющего наибольший интерес случая пограничных состояний будем полагать, что вероятность $P_\tau(1|0)$ довольно мала. Положив ее равной нулю в (4) и (5), получим следующие решения этих уравнений:

$$N_1(\hat{P}) = G_1 + \frac{H_1}{P(1)} - h_1 ln\frac{P_k(1)}{1-P_k(1)}; \quad (6)$$

$$N_0(\hat{P}) = G_0 + \frac{H_0}{P_k(1)} - h_0 ln\frac{P_k(1)}{1-P_k(1)}. \quad (7)$$

Коэффициенты h_1 и h_0 равны, соответственно:

$$h_1 = \left\{P_1(1)ln\, l + [1-P_1(1)]ln\frac{[1-P_1(1)]}{[1-P_0(1)]}\right\}^{-1},$$
$$h_0 = \left\{P_0(1)ln\, l + [1-P_0(1)]ln\frac{[1-P_1(1)]}{[1-P_0(1)]}\right\}^{-1}. \quad (8)$$

Произвольные константы при условии $N_1(P_{пор.}) = N_0(P_{пор}) = 0$ будут иметь следующий вид:

$$G_1 = h_1 ln \frac{P_{пор}}{1 - P_{пор}}; \quad H_1 = 0;$$

$$G_0 = -\frac{H_0}{1 - P_{пор}} = \infty.$$

Отсюда следует

$$N_1(\hat{P}) = h_1 \, ln \, A, \tag{9}$$

где

$$A = \frac{P_{пор}[1 - P_k(1)]}{P_k(1)(1 - P_{пор})}; \tag{10}$$

$$N_0(\hat{P}) = \infty.$$

Из соотношений (9) и (10) следует, что среднее время до достижения порогового значения $N_1(P)\tau$ равно бесконечности при $P_k(1) = 0$. Действительно, при $P_\tau(1|0) = 0$ точка $P_k(1) = 0$ является устойчивой в том смысле, что во всех обозначенных ситуациях апостериорная вероятность равна нулю, а в связи с этим и среднее время оказывается бесконечным. При $P_\tau(1|0) \neq 0$ $N_1(\hat{P})$ и $N_0(\hat{P})$ бесконечными уже не будут.

Заметим, что пограничные состояния характеризуются не только малыми $P_\tau(1|0)$, но и мало отличающимися $P_1(1)$ и $P_0(1)$. В этом случае

$$h_1 = \frac{2}{P_1(1) ln^2 P_1(1)/[1 - P_1(1)]} = \frac{2}{R}; \tag{11}$$

$$N_1(\hat{P}) = h_1 r^2 lnA; \tag{12}$$

$$N_0(\hat{P}) \approx \frac{1}{P_0(1)} \frac{P_{пор} - P(1)}{(1 - P_{пор})[1 - P(1)]}, \tag{13}$$

где $P(1)$ имеет смысл начального (априорного) значения вероятности выявления признака, т.е. в момент от которого начинается отсчет времени до принятия решения (достижения порога $P_{пор}$); r – коэффициент, характеризующий структурно-пространственную зависимость, коррелированность шума с элементарными компонентами (существенными признаками) поля. Этот коэффициент может принимать значения от нуля (белый шум) до единицы (изотропные, сильнокоррелированные поля).

В реальных системах обработки значения апостериорных вероятностей $\hat{P}$ не могут оказаться ниже некоторого минимального уровня P_{min}. Значение P_{min}, согласно (1) и (4), должно удовлетворять следующему уравнению:

$$P_{min} = \frac{[P_{min} + (1 - P_{min})P_\tau(1|0)] \frac{1 - P_1(1)}{1 - P_0(1)}}{1 + [P_{min} + (1 - P_{min})P_\tau(1|0)] \left[\frac{1 - P_1(1)}{1 - P_0(1)} - 1\right]}. \tag{14}$$

Для малых $P_\tau(1|0)$

$$P_{min} \approx P_\tau(1|0)\left[\frac{1-P_1(1)}{1-P_0(1)}\right]. \qquad (15)$$

С учетом r

$$P_{min} \approx r\,\frac{P_\tau(1|0)[1-P_1(1)]}{P_1(1)ln\left[{}^1\!/_{P_1(1)}\right]}. \qquad (17)$$

Подставив (16) в (12), получим

$$N_1(\hat{P}) = N_1(P_{min}) \approx H_1 r^2 ln\left[\frac{P_{пор} r\cdot R}{(1-P_{пор})P_\tau(1|0)ln\left({}^1\!/_{P_1(1)}\right)}\right]. \qquad (17)$$

Учитывая, что количество ложных выявлений признака, приходящееся на один такт, составляет, как следует из (13)

$$n \approx P_0(1)\frac{1-P_{пор}}{P_{пор}}, \qquad (18)$$

получим

$$N_1 \approx h_1 r^2 ln\left[\frac{r\cdot R}{n\, ln\left[{}^1\!/_{P_1(1)}\right]}\right]. \qquad (19)$$

При малых n соотношение (19) приобретает вид

$$N_1 = -h_1 r^2 ln\, n\,. \qquad (20)$$

Если в последнее соотношение подставить оптимальные значения $P_1(1)$ и R_{max}, то выражение для N_1 будет зависеть от r, n (рис. 1-3) и уровня интеллектуальности I системы

$$N_1 \approx -\frac{1}{I}\, r^2 ln\, n\,. \qquad (21)$$

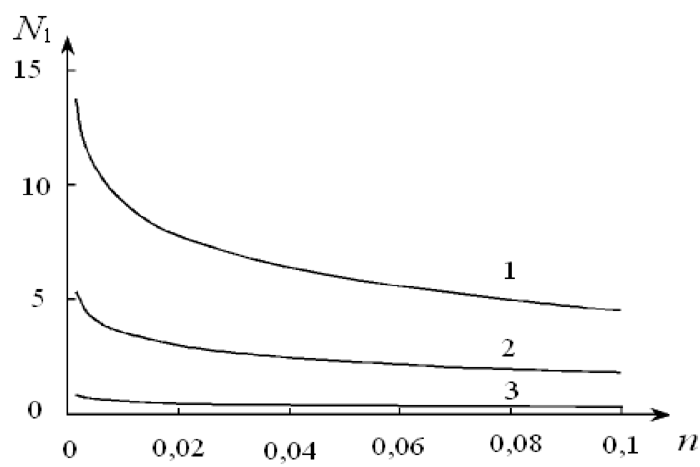


Рисунок 1 – Зависимость числа тактов обработки от n.
1 – r = 0,8; 2 – r = 0,5; 3 – r = 0,2

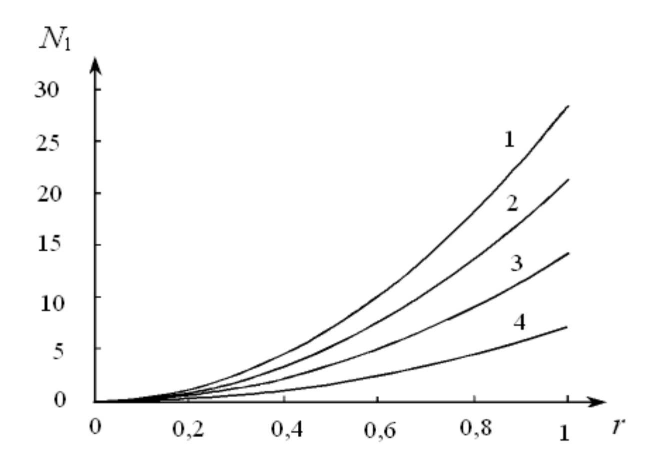


Рисунок 2 – Зависимость числа тактов обработки от r.
1 – n = 0,0001; 2 – n = 0,001; 3 – n = 0,01; 4 – n = 0,1

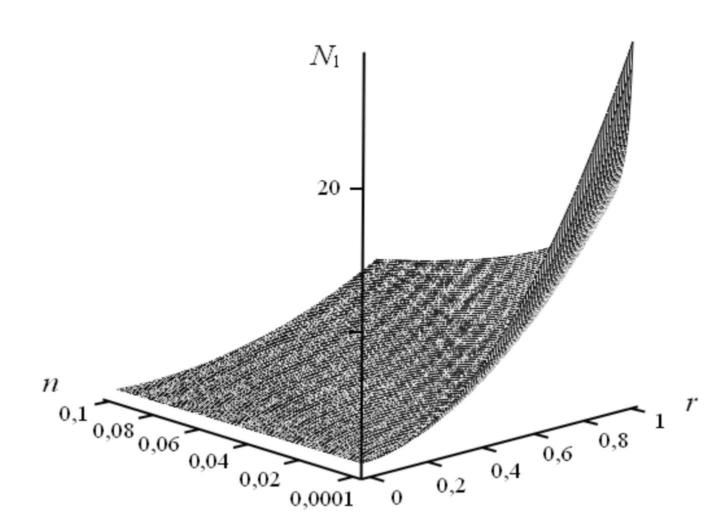


Рисунок 3 – Зависимость числа тактов обработки от n и r

Выводы

Установлены аналитические соотношения, позволяющие оценивать быстродействие систем структурно-стохастической обработки информации в режиме последовательных малоинформативных наблюдений.

Литература

1. Анцыферов С.С. Формирование спектра тепловых изображений и распознавание их образов / С.С. Анцыферов // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66, № 2. –С. 44-48.
2. Antsyferov S.S. Forming the spectrum of thermal images of objects and recognizing their patterns / S.S. Antsyferov // J.Opt. Technol. – 1999. – T. 66 (12). – P. 1047-1049.
3. Анцыферов С.С. Адаптация информационно-распознающих биомедицинских систем / С.С. Анцыферов, Н.Н. Евтихиев // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2001. – Т. 3, № 10. – С. 52-57.
4. Анцыферов С.С. Метрология виртуальных систем / С.С. Анцыферов // Измерительная техника. – 2003. – № 5. – С. 17-21.
5. Анцыферов С.С. Адаптивные системы распознавания образов пространственно-временных полей / С.С. Анцыферов, Н.Н. Евтихиев // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3. – С. 405-416.
6. Анцыферов С.С. Адаптивная обработка информации пространственно-временных изотропных полей / С.С. Анцыферов, Н.Н. Евтихиев // Оптический журнал. – 2006. – Т. 3, № 10. – С. 52-57.

7. Анцыферов С.С. Метрология интеллектуальных систем / С.С. Анцыферов // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3. – С. 18-27.
8. Анцыферов С.С. Метрологические основы формирования информационного пространства образов в интеллектуальных системах обработки / С.С. Анцыферов // Искусственный интеллект. – 2012. – № 4. – С. 283-291.

Literatura

1. Antsyferov S.S. Opticheskiy zhurnal. 1999. T. 66. № 2. S. 44-48.
2. Antsyferov S.S. J.Opt. Technol. 1999. T. 66(12). P. 1047-1049.
3. Antsyferov S.S., Evtihiev N.N. Biomedicinskaya radioelektronika. 2001. T. 3. № 10. S. 52-57.
4. Antsyferov S.S. Izmeritelinaya tehnika. 2003. № 5. S. 17-21.
5. Antsyferov S.S. Iskusstvennyj intellect. 2004. № 3. S. 405-416.
6. Antsyferov S.S., Evtihiev N.N. Opticheskiy zhurnal. 2006. T. 3. № 10. S. 52-57.
7. Antsyferov S.S. Iskusstvennyj intellect. 2008. № 3. S. 18-27.
8. Antsyferov S.S. Iskusstvennyj intellect. 2012. № 4. S. 283-291.

RESUME

S.S. Antsyferov, K.E. Rusanov

Processing Speed of Intellectual Systems

In the analysis of poorly structured fields that most often takes place in practice, for providing demanded level of reliability, it is necessary to carry out serial processing of a number of the realization received in a mode of dynamic supervision. Characteristic of poorly structured fields is, as a rule, small informational content of each separate realization because of indistinct expressiveness of essential signs, "indistinctness" of elementary components. In these cases making decision on a condition of object possibly only at achievement by a measure of informational content of essential signs of a field of some established threshold. So, according to a method of structural-stochastic approximation of isotropic fields, for increase of reliability of recognition of borderlines of studied objects, the certain test influence resulting in variability of structure of realization of a field in time is made on them. In the course of processing of realization there is a gradual accumulation of information and the corresponding increase of informational content of signs to level sufficient for decision-making. Earlier, by means of the created scale of information complexity, threshold value of a measure of informational content of the signs, providing high level of reliability of formation basic and recognitions of the current images of a field is established. For optimization of parameters of model and for an assessment of speed of system of processing in a mode of dynamic supervision important establishment of average of steps or average time before achievement of the established threshold, and actually before adoption of this or that decision (time of a delay of decision-making).

The analytical ratios, allowing to estimate processing speed of systems of structural-stochastic information in a mode of consecutive low-informative supervision are established.

Статья поступила в редакцию 18.04.2013.